

## TRANZIȚII CONFORMAȚIONALE LA INTERACȚIUNEA CÂMPULUI ELECTROMAGNETIC DE FRECVENȚĂ EXTREM DE ÎNALTĂ CU BIOMACROMOLECULELE INTRACELULARE

*Anatol ROTARU, Nelu CIOBANU, Iurie NICA, Theodor GEREGHI, Leonid CAIREAC*

*LCȘ „Sinergetica”*

In this paper, the nonlinear dynamics of Bose-condensed phonons and millimeter electromagnetic field have been investigated under the influence of external coherent electromagnetic radiation. The phases trajectories and time evolutions for different form of impulses were analyzed.

### Introducere

Actualmente, interacțiunea undelor electromagnetice milimetrice cu sistemele medico-biologice reprezintă, incontestabil, una dintre cele mai importante și interesante domenii ale electromagnitobiologiei moderne. În prezent este acumulat un număr impresionant de material experimental în acest domeniu, ceea ce conduce la concluzia că mecanismele acestei interacțiuni atât la nivel biomacromolecular, celular, cât și al organismului în întregime poartă un caracter fundamental.

Deși până în prezent nu au fost identificate mecanismele fizice ale interacțiunii undelor milimetrice de intensitate atermică cu obiectele biologice, se consideră că această interacțiune este un mecanism universal de transmitere a informației între obiectele vii și între celulele obiectului.

Până în prezent au fost lansate mai multe ipoteze referitor la mecanismele primare ale interacțiunii undelor milimetrice cu obiectele medico-biologice [1-19]. Deevatkov, bunăoară, consideră că undele milimetrice excită în celulele patologice cu generarea ulterioară a celulelor, a semnalelor de dirijare a proceselor de restabilire până la normal a celulelor [1].

Școala ucraineană condusă de Sitiko consideră că undele milimetrice sunt inerente tuturor obiectelor vii și, din acest motiv, ele produc efecte terapeutice. Bețkii și Lebedeva au presupus că ținta primară pentru undele milimetrice nu este celula organismului viu, ci mediul apos al pielii periferice, ceea ce conduce la mărirea activității chimice a moleculelor de apă structurată a organismului [14,15].

Printre celelalte ipoteze vom menționa mecanismul corelațional de activare a câmpurilor electromagnetice formate de celulele proprii ale organismului sub acțiunea câmpului extern [9], ipoteza bioenergetică [12,13] și al.

Deși, după cum am menționat mai sus, problema înțelegerii mecanismelor de interacțiune a undelor electromagnetice milimetrice rămâne una deschisă, experimental s-au stabilit următoarele legități distincte:

1. Caracterul de rezonanță al dependenței efectului biologic de lungimea de undă (frecvență).
2. Efectul biologic al acțiunii apare la un anumit prag al intensității câmpului electromagnetic milimetric.
3. Efectul biologic al acțiunii este invariant la alternarea intensității radiației în limite largi, adesea de câteva ordine.
4. Există un prag temporar: după apariția efectului biologic expunerea obiectului radiației nu duce la variația acestuia.
5. Efectul radiației depinde de starea inițială a organismelor vii supuse radiației.

Actualmente, radiația milimetrică se utilizează pe larg în medicină atât la diagnosticarea, cât și la tratarea diverselor maladii [1,2,20-30].

Deși rezultatele acțiunii radiației milimetrice asupra sistemelor medico-biologice sunt impresionante, trebuie de menționat că multe din fenomenele și particularitățile ce au loc până în prezent nu au o explicație bine fundamentată. De aceea, studierea interacțiunii undelor electromagnetice de mică intensitate cu organismele vii necesită o studiere multidisciplinară, cu utilizarea celor mai noi rezultate din teoria sistemelor complexe neliniare, senergetică, biologia fizico-chimică și moleculară etc.

Vom generaliza lucrarea [23]. În dezvoltarea acesteia s-au obținut încă două soluții exacte în formă de funcții eliptice ale ecuației diferențiale neliniare ce descrie dinamica liberă a particulei, fiind demonstrată și posibilitatea principală de apariție a structurilor temporale la interacțiunea biomacromoleculare cu radiația milimetrică de diferită forma temporală.

În continuare vom studia procesele ce au loc la interacțiunea undelor milimetrice cu macromoleculele biologice sau biopolimerii. După cum este cunoscut, ultimii reprezintă nivelul specific primar biologic de organizare a materiei vii. Macromoleculele acizilor nucleici sunt responsabile de păstrarea și transmiterea informației genetice, cataliza efectivă a reacțiilor biochimice, care constituie baza viabilității organismelor.

Una dintre particularitățile biopolimerilor constă în faptul că ele se află în anumite stări de izomerie conformațională. Conformația moleculelor biologice joacă un rol foarte important în funcționarea acestora. Astfel, procesele de replicare, sinteza proteinelor este însoțită de tranzația unor părți spirale duble ADN din starea fiziologic normală B în starea conformațională A.

Tranzațiile dintre diverse stări conformaționale ale macromoleculelor biologice sunt separate de bariere energetice care, de regulă, sunt mult mai mari decât energia termică  $kT$ .

Prin urmare, se poate presupune că unul dintre mecanismele primare ale interacțiunii câmpului electromagnetic milimetric cu biomacromoleculele materiei vii constă în tranzația între diferite stări izomerice ale biomoleculelor sub acțiunea undelor milimetrice.

### Dinamica neliniară liberă a particulei în groapa potențială cu două minimuri

Energia câmpului electromagnetic milimetric este absorbită de biomacromolecule și conduce la depășirea barierei ce disparte conformerii respectivi. Comutarea sub acțiunea radiației milimetrice de la o stare inițială conformațională în alta este echivalentă cu mișcarea unei particule într-o groapă potențială cu două minimuri, acestea din urmă fiind separate de o barieră (Fig.1).

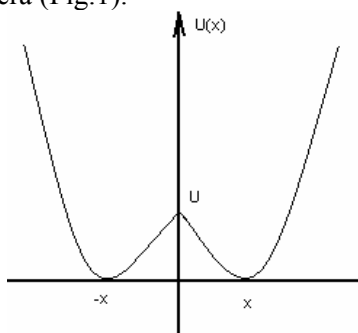


Fig.1. Mișcarea particulei în groapa de potențial cu două minimuri.

Forța variabilă a câmpului electromagnetic milimetric acționând asupra particulelor, care inițial efectuau oscilații în una dintre gropile potențiale, conduce la mărirea energiei potențiale a acestora, după care, sub acțiunea fluxurilor termice, particula trece în altă groapă potențială.

Este cunoscut că excitarea oscilatorului sub acțiunea forței externe periodice are loc în condiții de rezonanță. Prin urmare, inițial este necesar a determina frecvențele de oscilație ale particulei în absența câmpului electromagnetic extern.

În caz general, ecuația de mișcare a particulei sub acțiunea câmpului electromagnetic variabil și a proceselor de atenuare are forma:

$$m \frac{d^2 X}{dt^2} + 2\lambda m \frac{dX}{dt} + \frac{dW(X)}{dX} = eE(t), \quad (1)$$

unde  $m$  este masa particulei,  $\lambda$  – coeficientul de atenuare,  $e$  – sarcina particulei

$$W(X) = E \left(1 - \frac{X^2}{X_0^2}\right)^2. \quad (2)$$

În continuare vom studia dinamica particulei sub acțiunea câmpului electromagnetic exterior de diferite forme. Pentru început, vom studia dinamica particulei sub acțiunea unui câmp monocromatic de amplitudine  $\varepsilon$  și frecvență  $\omega$

$$E(t) = \varepsilon \cos \omega t. \quad (3)$$

În acest caz, ecuația de mișcare a particulei în groapa potențială cu două minimuri sub acțiunea câmpului electromagnetic milimetric extern și luând în considerare posibilitatea reală de atenuare a mișcării are forma:

$$\frac{d^2 X}{dt^2} + 2\lambda \frac{dX}{dt} - \frac{4E}{mX_0^2} X + \frac{4E}{mX_0^4} X^3 = \frac{e\varepsilon}{m} \cos \omega t. \quad (4)$$

În cele ce urmează este comod să trecem la mărimi adimensionale pentru coordonată și timp, notând, respectiv:

$$x = \frac{X}{X_0}, \quad \tau = \lambda t, \quad y = \frac{dx}{d\tau}, \quad z = \omega t = \frac{\omega \tau}{\lambda}. \quad (5)$$

Ecuația diferențială ordinară de gradul doi sub acțiunea câmpului electromagnetic extern este echivalentă cu un sistem de trei ecuații diferențiale neliniare de gradul întâi:

$$\frac{dx}{d\tau} = y, \quad \frac{dy}{d\tau} = \frac{4E}{m\lambda^2 X_0^2} (1-x^2)x - 2y + \frac{e\varepsilon}{m\lambda^2 X_0} \cos z, \quad \frac{dz}{d\tau} = \frac{\omega}{\lambda}. \quad (6)$$

Sistemul de ecuații diferențiale descrie dinamica neliniară a mișcării particulei.

Vom menționa că în prezent nu există un algoritm standard de determinare a soluțiilor sistemelor de ecuații diferențiale neliniare în formă generală și obținerea lor în formă analitică este o problemă extrem de dificilă. În acest context a fost efectuat un experiment numeric.

Evoluția soluțiilor sistemului de ecuații diferențiale este determinată de evoluția volumului spațiului de fază. Considerând mișcarea punctelor în spațiul de fază ca o mișcare a lichidului, obținem:

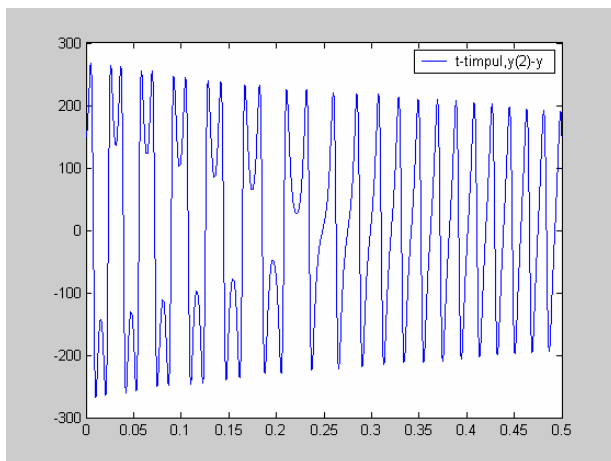
$$\frac{\partial \dot{x}}{\partial x} + \frac{\partial \dot{y}}{\partial y} + \frac{\partial \dot{z}}{\partial z} = -2. \quad (7)$$

Drept rezultat, putem constata că orice volum elementar al spațiului de fază tinde către zero când

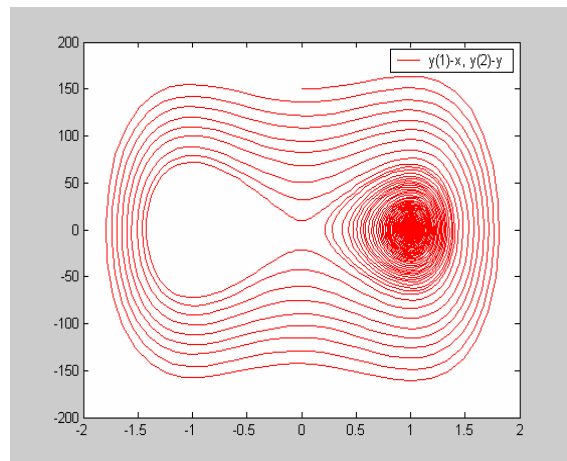
$$\tau \rightarrow \infty \quad V = V_0 \exp(-2\tau). \quad (8)$$

Aceasta însă nu înseamnă neapărat că orice element de volum al spațiului de fază se contractă într-un punct. El poate să se răspândească pe o suprafață, astfel încât punctele oricărui element al spațiului de fază să converge către o submulțime, a cărei dimensiune este mai mică decât a spațiului de fază inițial. În acest caz, drept atractori în spațiul de fază pot fi: ciclul limită, torul sau atractorul straniu. Aceștia corespund oscilațiilor neliniare periodice, cvasiperiodice și staționare.

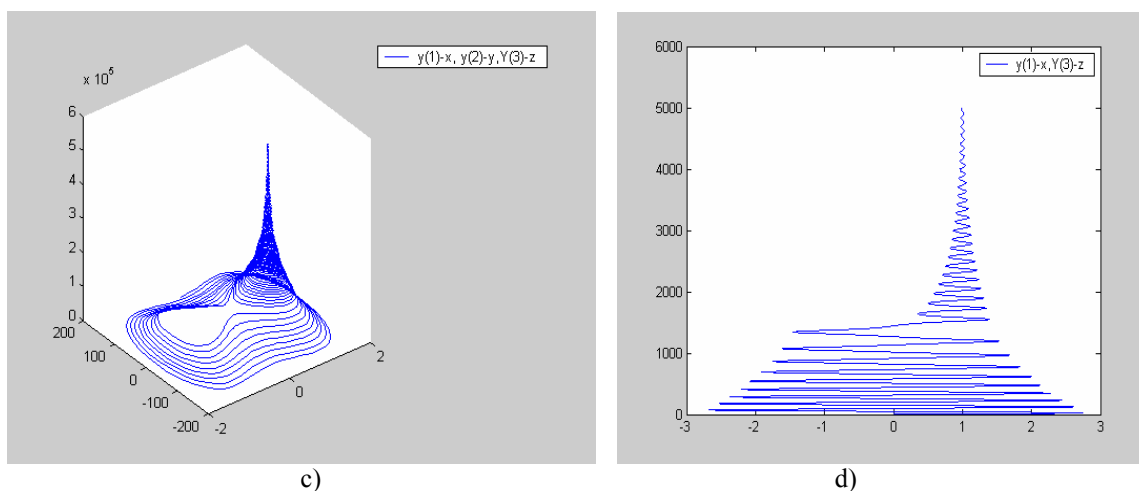
În Figura 2 sunt prezentate dependența de timp și proiecția traiectoriei de fază pentru diferite valori ale parametrilor  $B = \frac{4E}{m\lambda^2 X_0^2}$  și  $C = \frac{e\varepsilon}{m\lambda^2 X_0}$ .



a)

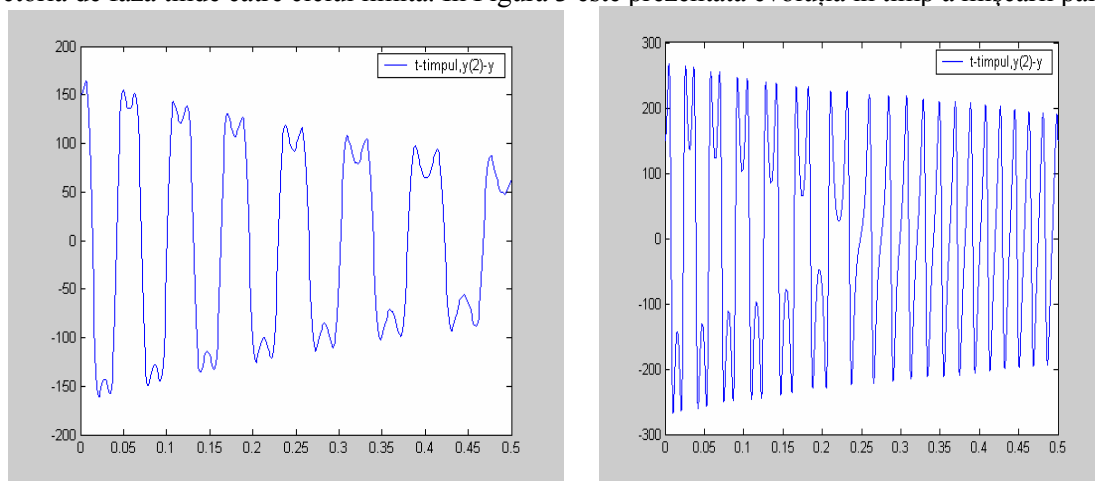


b)



**Fig.2.** Dependența în timp și proiecțiile traiectoriilor de fază pentru valorile:  
a), b)  $\lambda=10^7$ ;  $B=10^4$ ;  $C=10^2$ ;  $w=10^{12}$ ; c), d)  $\lambda=10^9$ ;  $B=10^3$ ;  $C=10^2$ ;  $t \rightarrow 0 \div 1,5$ .

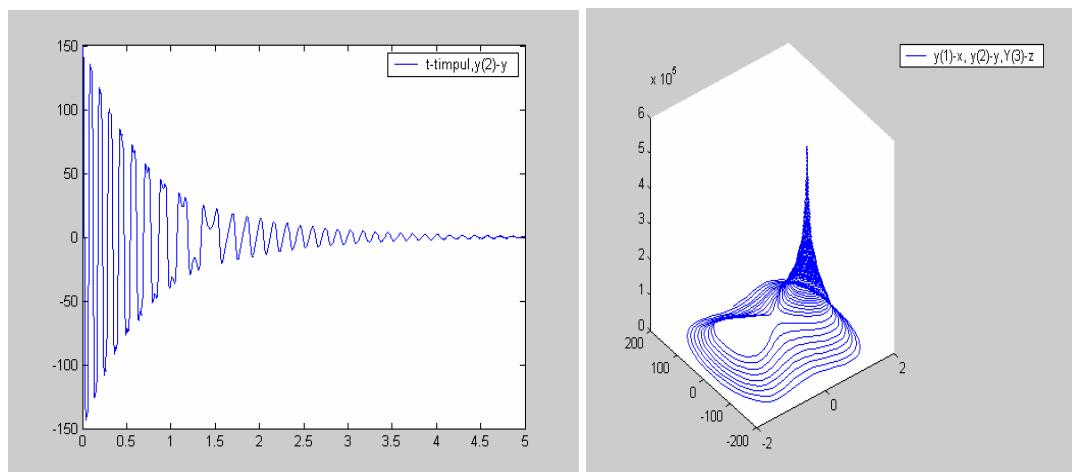
După cum observăm, la aceste valori ale parametrilor în sistemul studiat apar oscilații periodice neliniare, iar traiectoria de fază tinde către ciclul limită. În Figura 3 este prezentată evoluția în timp a mișcării particulei.

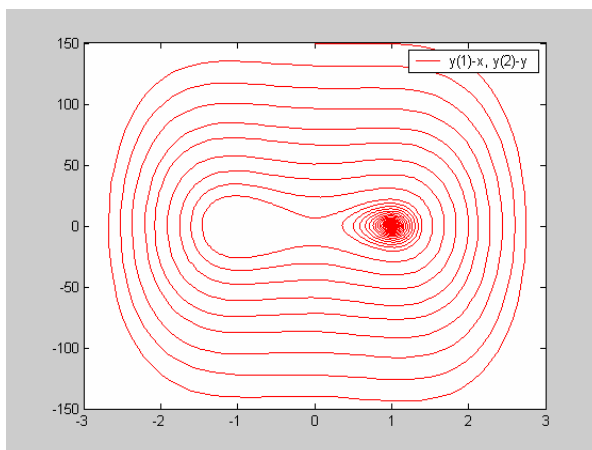


**Fig.3.** Dependența în timp a mișcării particulei pentru valorile:  
 $\lambda=10^9$ ;  $B=10^4$ ;  $C=10^3$ ;  $w=10^{12}$ ;  $t \rightarrow 0 \div 1,5$ .

Se observă apariția unei bifurcări a mișcării neliniare.

În Figura 4 sunt prezentate evoluția în timp a mișcării și a proiecțiilor traiectoriilor de fază.

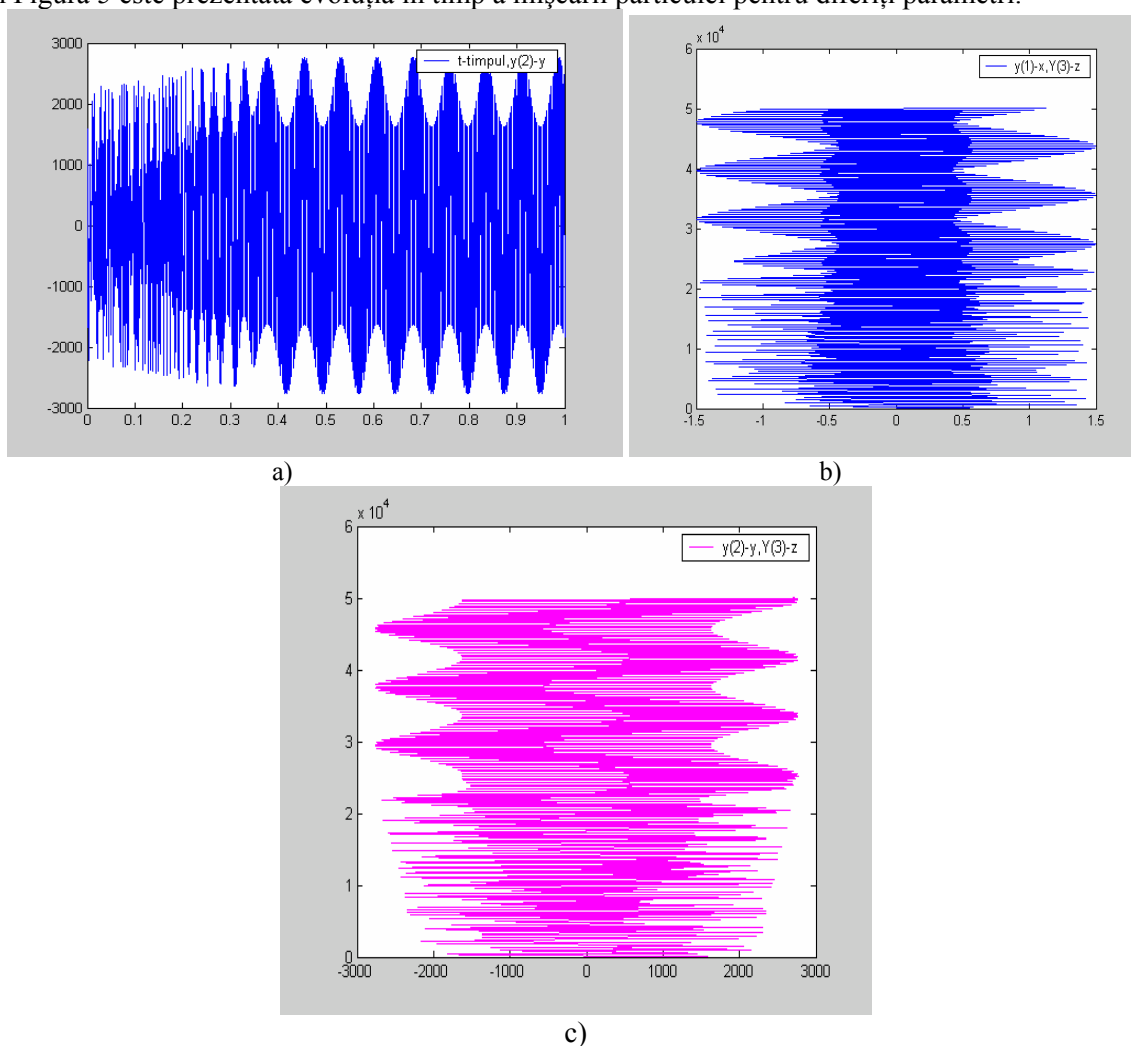




**Fig.4.** Dependența în timp și proiecțiile traiectoriilor de fază pentru:  
 $\lambda=10^9$ ;  $B=10^5$ ;  $C=10^3$ ;  $w=10^{12}$ ;  $t \rightarrow 0 \div 1,5$ .

Se observă că peste un anumit timp are loc stabilizarea amplitudinii oscilațiilor, iar traiectoria de fază tinde către atractorul clasic de tip focar.

În Figura 5 este prezentată evoluția în timp a mișcării particulei pentru diferiți parametri.



**Fig.5.** Evoluția în timp a mișcării particulei pentru:  
 a)  $\lambda=10^7$ ;  $B=10^7$ ;  $C=10^2$ ;  $w=10^{12}$ ; b), c)  $\lambda=10^7$ ;  $B=10^7$ ;  $C=10^3$ ;  $w=10^{12}$ ;  $t \rightarrow 0 \div 1,5$

După cum observăm, dinamica neliniară și proiecțiile traiectoriei de fază tind către atractorul straniu.

Prin urmare, sub acțiunea câmpului electromagnetic monocromatic extern și în prezența atenuării mișcării în sistemul studiat pentru anumite valori ale parametrilor poate apărea haosul dinamic. Acesta este un rezultat principal sau, spre deosebire de mișcarea liberă a particulei, unde oscilațiile sunt regulate și periodice neliniare sau în formă de soliton.

În continuare vom studia dinamica particulei sub acțiunea unui impuls de formă dreptunghiulară cu lungimea temporală  $T$ . În acest caz, intensitatea câmpului electromagnetic are forma:

$$E = E_0[1 - \theta(t - T)], \tag{9}$$

unde:  $\theta(t - T) = 1$  pentru  $t > T$   
 $\theta(t - T) = 0$  pentru  $t < T$ .

Forma impulsului (9) este reprezentată de Figura 6.

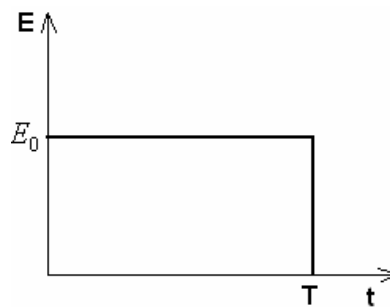


Fig.6. Forma impulsului dreptunghiular de durată  $T$ .

În acest caz, ecuația de mișcare a particulei sub acțiunea câmpului electromagnetic milimetric dreptunghiular de durată  $T$  are forma:

$$\frac{d^2 X}{dt^2} + 2\lambda \frac{dX}{dt} - \frac{4E}{mX_0^2} X + \frac{4E}{mX_0^4} X^3 = \frac{eE_0}{m} [1 - \theta(t - T)]. \tag{10}$$

Aceasta reprezintă o ecuație neliniară de gradul II, soluția analitică fiind foarte greu de găsit sau chiar imposibil, cauza fiind că până în prezent nu au fost elaborate algoritmele de rezolvare a ecuațiilor diferențiale neliniare. În continuare am efectuat o simulare numerică a ecuației (10), elaborând un program special de soluționare a ecuației.

În Figura 7 este reprezentată dinamica neliniară a particulei pentru diferite valori ale parametrilor

$$\alpha = \frac{4E}{mX_0^2}, \beta = \frac{4E}{mX_0^4} \text{ și } \gamma = \frac{eE_0}{m}.$$

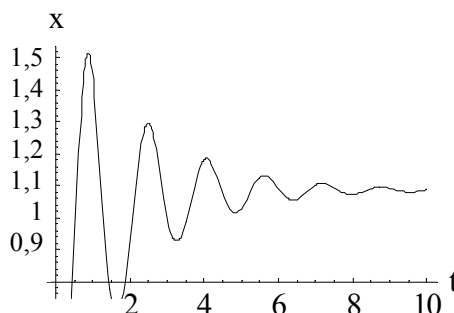


Fig.7. Dependența mișcării particulei pentru valorile  $\lambda=0,5$ ,  $\alpha=1,3$ ,  $\beta=5$ ,  $\gamma=5$ ,  $T=10$ .

După cum observăm, particula efectuează oscilații neliniare, a căror amplitudine se micșorează stabilizându-se la o anumită valoare. Oscilațiile au loc în ramura din dreapta a funcției potențiale. Pentru valorile  $t > T$  particula trece în ramura stângă a gropii potențiale stabilizându-se în vecinătatea punctului  $x_0 = -0,5$  (Fig.8).

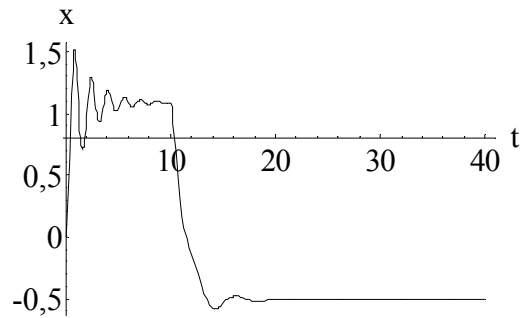


Fig.8. Dependenta mișcării particulei pentru  $t > T$ .

În Figura 9 este prezentată evoluția în timp a particulei cu condițiile modificate. După cum se observă, caracterul mișcării rămâne același.

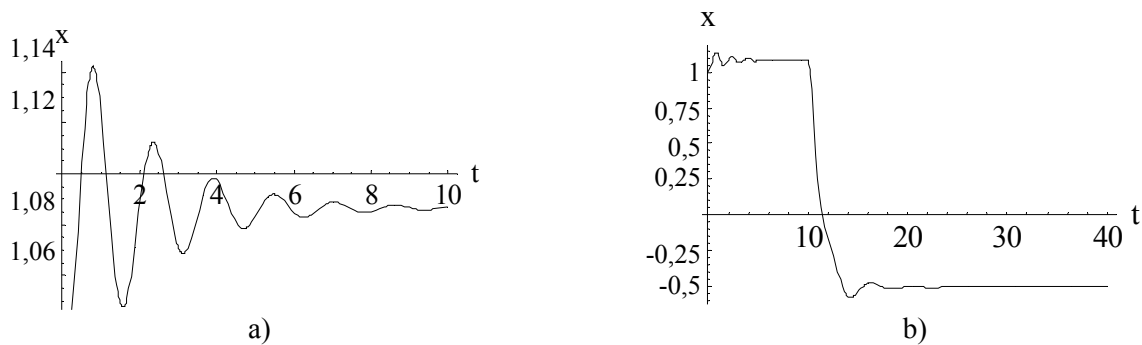


Fig.9. Dependenta mișcării particulei pentru valorile:  
 $\lambda=0,5$ ,  $\alpha=1,3$ ,  $\beta=5$ ,  $\gamma=5$ ,  $T=10$ ; a)  $x[0]=1$ ,  $x[0]=0$ ; b)  $x[0]=1$ ,  $x[0]=1$ .

Cu mărirea atenuării  $\lambda$  se observă o schimbare a caracterului evoluției mișcării particulei. După cum se observă din Figura 10, caracterul oscilator al mișcării neliniare dispare:

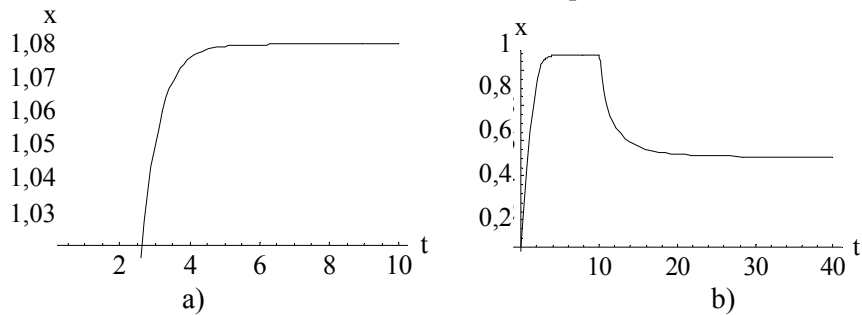


Fig.10. Dependenta mișcării particulei pentru valorile:  
 $\lambda=5$ ,  $\alpha=1,3$ ,  $\beta=5$ ,  $\gamma=5$ ,  $T=10$ : a)  $x[0]=0$ ,  $x[0]=0$ ; b)  $x[0]=0$ ,  $x[0]=1$ .

În sfârșit, în cele ce urmează vom analiza cazul când forma undei electromagnetice este de tip  $E = E_0 \exp(-[\frac{t-T}{\tau}]^n)$  după cum e reprezentat în Figura 11.

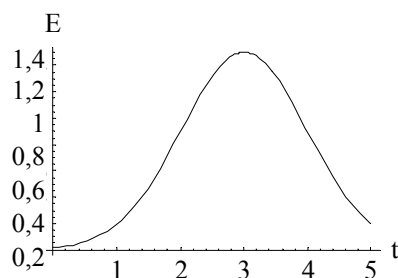
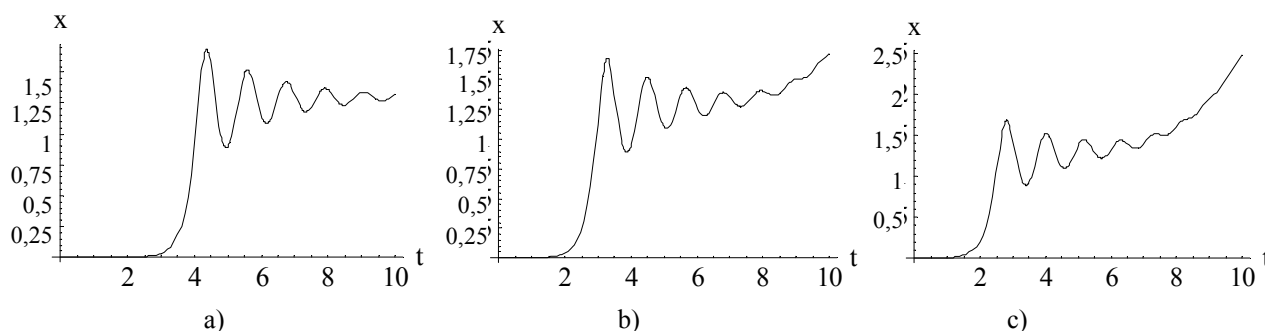


Fig.11.

Ecuția de mișcare a particulei în acest caz are forma:

$$\frac{d^2 X}{dt^2} + 2\lambda \frac{dX}{dt} - \frac{4E}{mX_0^2} X + \frac{4E}{mX_0^4} X^3 = \frac{eE_0}{m} \exp\left(-\left[\frac{t-T}{\tau}\right]^n\right). \quad (11)$$

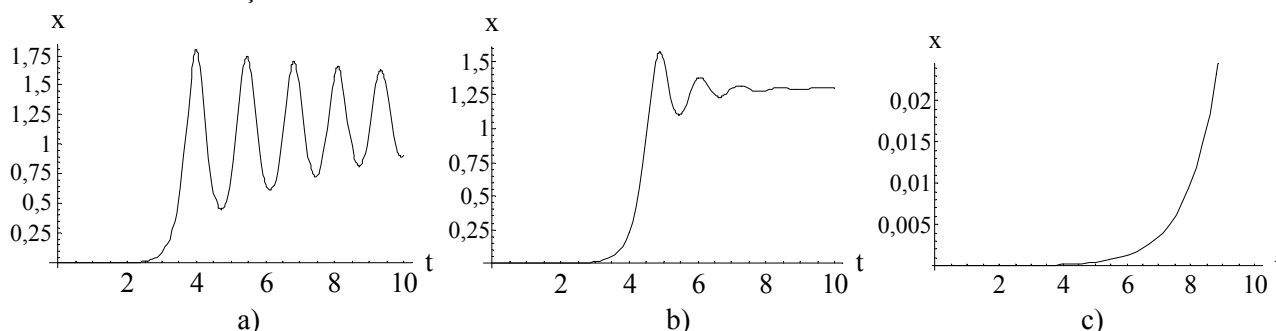
În Figura 12 este reprezentată dinamica particulei sub acțiunea unui impuls exponențial pentru diverse valori ale amplitudinii câmpului exterior:



**Fig.12.** Dinamica mișcării particulei pentru valorile:  
 $\lambda=0,5, \alpha=15, \beta=9, T=10, n=1, \tau=1, x[0]=0, \dot{x}[0]=0$ ; a)  $\gamma=0,5$ , b)  $\gamma=20$ , c)  $\gamma=100$ .

După cum observăm, odată cu creșterea amplitudinii câmpului exterior are loc creșterea neliniară a amplitudinii oscilațiilor particulei în groapa potențială.

În Figura 13 sunt determinate evoluțiile în timp ale particulei în groapa potențială pentru diferite valori ale mărimii atenuării mișcării:



**Fig.13.** Dinamica mișcării particulei pentru valorile:  
 $\gamma=0,5, \alpha=15, \beta=9, T=10, n=1, \tau=1, x[0]=0, \dot{x}[0]=0$ ; a)  $\lambda=0,1$ , b)  $\lambda=1$ , c)  $\lambda=10$ .

Așadar, odată cu creșterea valorii atenuării dispăre caracterul oscilator al mișcării. Prin urmare, în dependență de formele impulsurilor exterioare, dinamica neliniară a particulei în groapa potențială (Fig.1) este diferită. O problemă aparte care trebuie studiată este determinarea frecvențelor de oscilație, dependența acestora de parametrii sistemului, precum și studierea stabilității mișcărilor oscilatorii.

**Referințe:**

1. Девятков Н.Д., Бецкий О.В., Голант М.Б. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности // Радио и связь, 1991.
2. Голант М.Б. Биофизика // 1989. - Т.34. - С.339.
3. Fröhlich H. // Phys. Lett. - 1968. - A26. - P.402.
4. Fröhlich H. // Inst. Quantum Chem. - 1968. - Vol.2. - P.641.
5. Fröhlich H. // Nature. - 1970. - Vol.228. - P.1093.
6. Fröhlich H. // Phys. Lett. - 1972. - A39. - P.153.
7. Fröhlich H. // Soviet Phys. Biofiz. - 1977. - Vol.23. - P.743.
8. Fröhlich H. // Adv. In Electronics and Electron Physics. - 1980. - Vol.53. - P.85.
9. Чернавский Д.С., Хургин Ю.Н., Шноль С.Э. О кооперативных (когерентных) явлениях в биологических макромолекулах (концепции «когерентного возбуждения» и «белок – машина») // Препринт. - 1986. - Т.185.



10. Davydov A.S. Kislukha N.I. // *Phys. Status Solidi*. - 1976. - B.75. - P.735.
11. Давыдов А.С. Биология и квантовая механика. - Киев: Наукова думка, 1979.
12. Ситько С.П., Мкртчян Л.Н. Введение в квантовую медицину. - Киев: Паттерн, 1994.
13. Sitko S. // *Physics of the Alive*. - 1998. - Vol.6. - No1.
14. Deviatkov N.D., Betskii O.V. *Biological Aspects of Low Intensity Millimeter Waves*. - Moscow, 1994.
15. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н. // <http://www.uniphys.ru/journal/No4-01/mainarticle/main.htm>.
16. Хургин Ю.И., Кудряшова В.А., Завизион В.А. Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения // ИРЭ АН СССР. - 1987. - С.246.
17. Петросян В.Н. и др. Биомедицинская радиоэлектроника. - 2001. - №5-6. - С.63.
18. Чукова Ю.П. Миллиметровые волны в биологии и медицине. - 1996. - №7. - С.5.
19. Чукова Ю.П. Эффекты слабых взаимодействий. - Москва, 2002.
20. Rotaru A., Bucun N., Donica T., Trifan A. Acțiunea undelor milimetrice asupra sistemelor medico-biologice // *Rezumate ale Conferinței corpului didactico-științific al USM*. - Chișinău, 1998, p.171.
21. Rotaru A., Donica T., Gereghi T., Zolotovschi V., Trifan A. Autoorganizarea structurilor temporare și spațiale la interacțiunea câmpului de radiație milimetric cu sistemele vii // *Rezumate ale Conferinței corpului didactico-științific al USM*. - Chișinău, 1998, p.172.
22. Rotaru A. Teoria interacțiunii câmpului electromagnetic coerent cu mediile biologice. // *Materialele Colocviului Internațional de Fizică „EVRICA”*. - Chișinău, 2002, p.16.
23. Rotaru A., Ciobanu N. Teoria semiclassicală a interacțiunii microundelor de intensitate atermică cu sistemele biologice // *Materialele Colocviului Internațional de Fizică „EVRICA”*. - Chișinău, 2002, p.44.
24. Rotaru A. Coherent electromagnetic field interaction with Biological media // *12<sup>th</sup> National Conference of the Romanian Physical Society „Trends in Physics”*. - Târgu Mureș, 2002, p.94.
25. Rotaru A., Ciobanu N., Ghitu D., Nica Iu. A new model of the microwave Interaction with biological systems // *12<sup>th</sup> National Conference of the Romanian Physical Society „Trends in Physics”*. - Târgu Mureș, 2002, p.97.
26. Betskii O.V., Gitsu D.V., Parhomenko V.F., Rotaru A.H. Water in process of the interactions of electromagnetic millimeter waves with living organism // *The second International Conference of Ecological Chemistry. Abstract*. - Chisinau, 2002, p.300.
27. Betskii O.V., Ghistu D.V., Nica Iu., Rotaru A., Saulea A. Efecte medico-biologice ale interacțiunii undelor milimetrice cu mediile vii // *Analele Științifice ale USM*. - Chișinău, 2003, p.158.
28. Betskii O.V., Ghistu D.V., Groppa S., Roratu A., Rotaru D., Tâbârnă Gh. Utilizarea undelor milimetrice de intensitate atermică în medicină // *Analele Științifice ale USM*. - Chișinău, 2003, p.164.
29. Гицу Д.В., Пархоменко В.Ф., Ротару А.Х. Фундаментальные и прикладные исследования взаимодействия электромагнитных волн КВЧ с медико-биологическими объектами // *13 Russian symposium with Participation of Foreign Scientists Millimeter waves in medicine and biology. Digest of Papers*, - Moscow, 2003, p.115.
30. Betskii O.V., Ghistu D.V., Rotaru A.H., Ciobanu N.V. The nonlinear dielectric permittivity during extraction of coherent phonons in biological objects // *13 Russian symposium with Participation of Foreign Scientists Millimeter waves in medicine and biology. Digest of Papers*. - Moscow, 2003, p.118.

*Prezentat la 13.08.2007*